

5 Tipps für bessere Raumakustik-Messungen

Für die ersten Messungen Deines Raumes ist die technische Qualität noch nicht sehr entscheidend. Die Erkenntnisse, die Du überhaupt durch die neuen Diagramme wie die **Impulsantwort** und das **Wasserfalldiagramm** oder **Spektrogramm** bekommst, sind in jedem Falle sehr interessant und aufschlussreich!

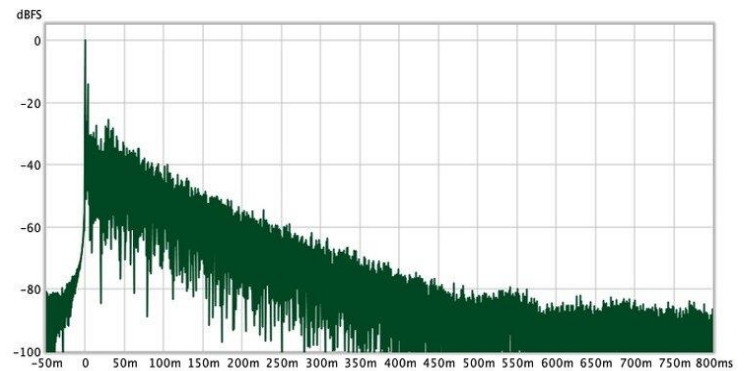
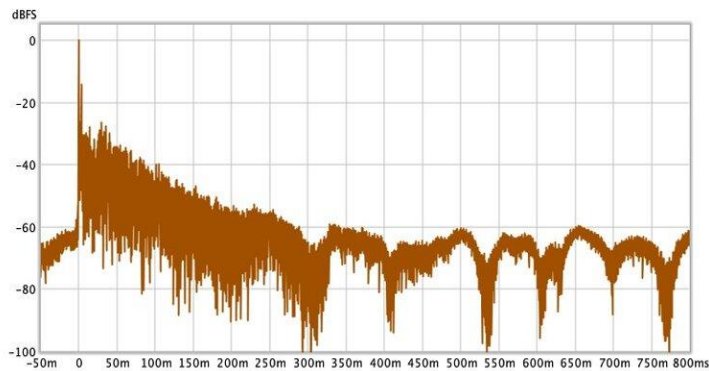
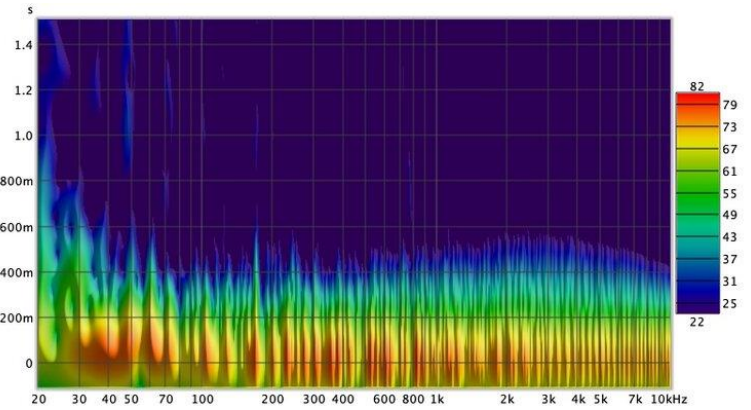
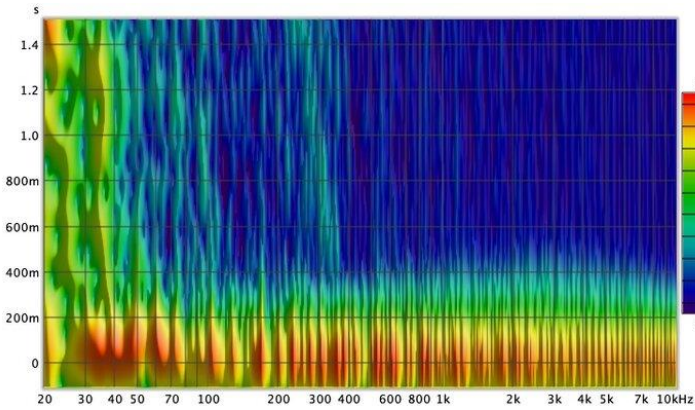
Insofern ist jede Messung besser als keine Messung! In meinem Blog-Artikel zur [Messung von Raum-Moden](#) habe ich die ersten Schritte und Einstellungen mit REW ([Room EQ Wizard](#)) kurz skizziert, damit Du möglichst unkompliziert eine erste Messung von Deinem eigenen Raum anfertigen kannst - falls Du bislang noch keine Erfahrung mit REW gemacht hast.

Sobald der Mess-Aufbau grundsätzlich steht und Deine ersten Messungen im Kasten sind, lässt sich mit ein paar einfachen Tricks die Qualität Deiner Messungen verbessern.

Wichtigster Parameter ist der **Signal-Rausch-Abstand**. Viele raumakustische Eigenschaften wie die Nachhallzeit betrachten einen Abfall des Pegels um 60dB. Und dies lässt sich natürlich nur dann klar darstellen, wenn unsere Messdaten auch einen solchen Dynamikumfang aufweisen.

Folgender Vergleich eines Spektrogramms und der dazugehörigen Impulsantwort verdeutlicht den Unterschied zwischen einer technisch schlechten (links) und einer guten (rechts) Messung

:



Insbesondere im Bassbereich interessiert uns das frequenzabhängige Abklingverhalten. Es ist wichtig zu erkennen, wo Raummoden nachschwingen und ggf. raumakustisch behandelt werden sollten. Wenn die Hintergrundgeräusche zu hoch sind, erkennen wir nur noch Tendenzen, aber tun uns schwer, eine klare Entscheidung für die weiteren Schritte zu treffen.

Beide Spektrogramme zeigen denselben Abfall um 60dB. Beim linken Beispiel ist bei -60dB bereits die Grenze zum Störgeräusch-Teppich erreicht und die Konturen der Raummoden sind nicht klar erkennbar.

Beim rechten Beispiel sehen wir anhand der Impulsantwort, dass das Hintergrundrauschen erst unter -80dB beginnt gegenüber dem Peak. Somit ist der 60dB-Abfall im Spektrogramm klar definiert.

Wenn die Messdaten nicht mehr hergeben, lässt sich natürlich auch ein Pegelabfall von nur 30dB oder 40dB ansehen und die Konturen werden wieder scharf. Aber gelegentlich willst Du vielleicht die vollen 60dB erreichen. Und das ist gar nicht so schwer!

Der Test-Aufbau

Ich habe für die Beispiel-Diagramme das Mess-Signal auf meinen linken Lautsprecher gegeben und das Mikrophon auf meine normale Abhör-Position gestellt. Da sich die Störgeräusche von draußen ständig ändern, habe ich mir mein eigenes Störgeräusch erzeugt. Auf dem rechten Lautsprecher lief die ganze Zeit ein konstantes Rosa Rauschen.



Zudem habe ich für die meisten Messungen das Mess-Signal deutlich abgesenkt. Während ich normalerweise bei -20dB oder -25dB messen würde (was mit meinen Aktiv-Lautsprechern etwa 80-85dB SPL ergeben würde), hab ich zur absichtlichen Verschlechterung heute mit -50dB gemessen. Das Mess-Signal ist zwar gerade noch hörbar, aber geht fast unter im Hintergrundgeräusch.

Was also tun, wenn die akustische Situation nicht optimal ist, wir aber dennoch gute Messungen anfertigen wollen? Hier sind ein paar Anregungen:

1. Die Lautstärke des Mess-Signals erhöhen

Ich denke, es ist selbsterklärend, dass wir unser Mess-Signal einigermaßen aufdrehen sollten, wenn es um die Messung von raumakustischen Parametern geht. Denn dies ist der einfachste und wichtigste Punkt und steht deshalb ganz oben auf der Liste!

Beim Frequenzgang eines Lautsprecher und dem Einmessen des EQs ist dies nicht sehr relevant, weil wir uns in der Regel auf den Direktschall konzentrieren.

Wenn wir uns dagegen im Spectrogram den Abfall des Pegels um 60dB anschauen wollen und froh sind, wenn wir danach noch ein paar dB Reserve haben vor dem Grundrauschen, dann dürfte klar sein, dass wir mit sanfter „Zimmerlautstärke“ nur schwierig alle Informationen aufnehmen können.

Natürlich gibt es Grenzen für die Lautstärke: wir wollen den Lautsprecher nicht beschädigen und auch nicht in den Bereich bringen, wo er verzerrt. Zum anderen müssen wir ggf. recht nah am Lautsprecher sitzen während der Messung und wollen unser Gehör nicht gefährden. Oder wir haben empfindliche Mitbewohner, Haustiere oder Nachbarn. All das sollten wir natürlich nicht strapazieren. Denn wir haben ja später noch ein paar weitere Tricks, wie wir unsere 60dB Abfall sichtbar machen, auch wenn wir sie in diesem ersten Schritt nicht vollständig akustisch hinbekommen.

Letztlich ist aber keine Methode so einfach und schnell wie die Erhöhung der Lautstärke. Je nach Deinem Equipment gibt es mehrere Stellen, an denen Du den Pegel erhöhen kannst. Zum einen direkt am (Aktiv-)Lautsprecher oder am Verstärker bzw. Receiver. Oder du drehst den Ausgang am Audio-Interface weiter auf oder erhöhst den Pegel des Mess-Signals in der Mess-Software. Am Ende sollte Dein Mess-Signal recht laut zu hören sein und sich mehr als deutlich von den Umgebungsgeräuschen in Deinem Raum absetzen.

Kleiner Tipp: Du musst während der Messung nicht unbedingt anwesend sein! Wenn es Dir zu laut wird, dann nutze in REW die **Delay-Funktion** mit beispielsweise 20-30 Sekunden Vorlauf. Du kannst also bequem den Raum verlassen, die Türe wieder schließen und in der Zwischenzeit einen Kaffee trinken gehen, während die Messung läuft.

Sample rate:

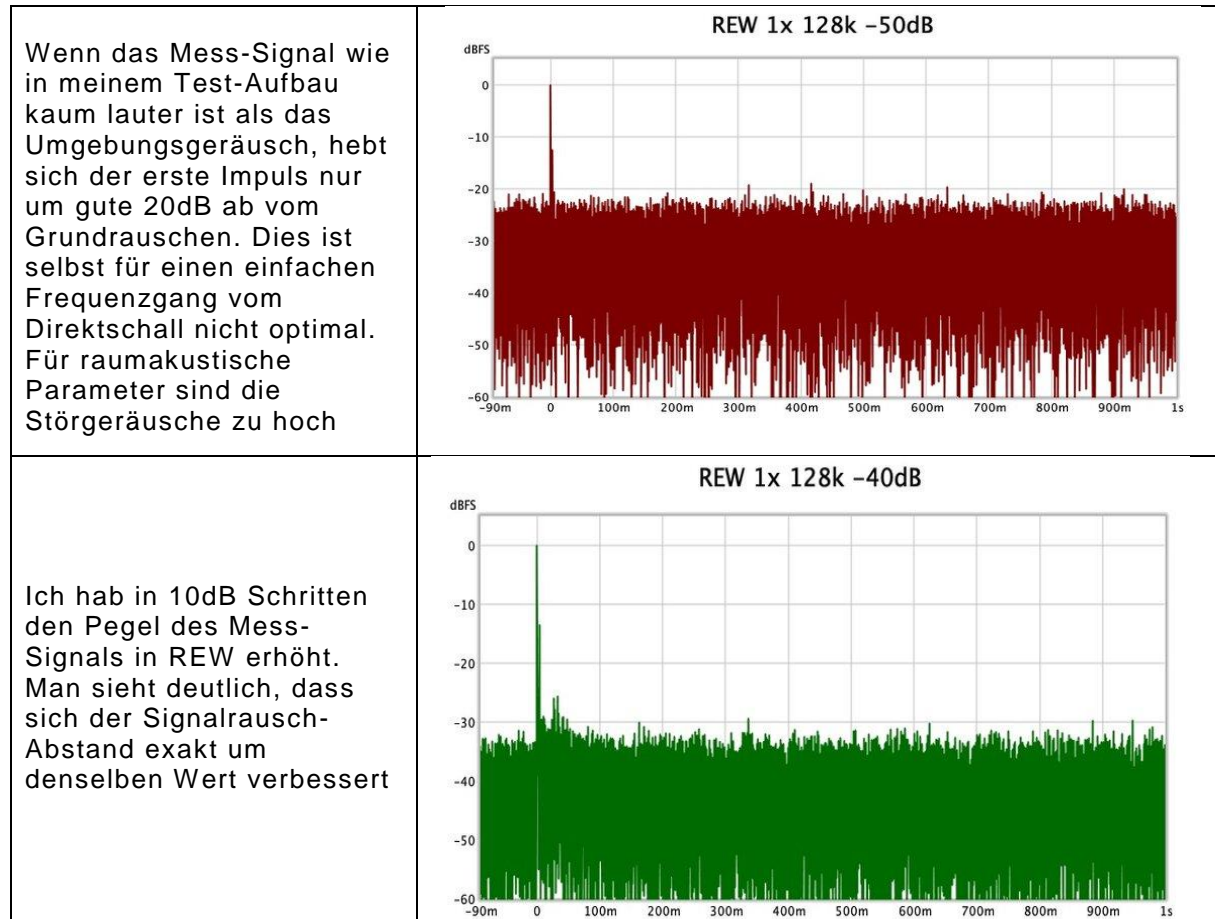
48 kHz

Delay:

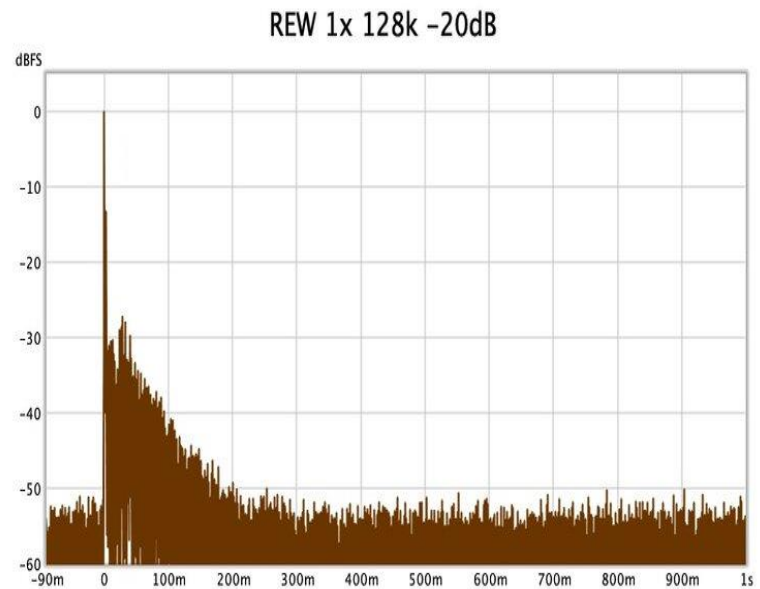
0

seconds

Du siehst den Effekt einer Lautstärke-Erhöhung am ehesten in der Impuls-Antwort. Eigentlich erhöhst Du durch mehr Lautstärke den Peak am Anfang des Impulses. REW normalisiert den ersten Impuls allerdings nützlicher Weise immer auf 0dB, so dass es hier so aussieht, als wenn wir die Störgeräusche im Raum absenken.



Bei einer Erhöhung um 30dB (in meinem Raum auf geschätzte 85dB SPL, also einem Wert, den ich angenehm ertragen kann, ohne dass ich mir die Ohren zu halten müsste), ragt der Impuls trotz meinem künstlichen Hintergrundgeräusch bereits gute 50dB aus dem Grundrauschen heraus. Das ist mitunter schon brauchbar für erste raumakustische Erkenntnisse, aber für ein gutes Wasserfall-Diagramm und Spektrogramm sollten wir noch ein paar weitere Joker nutzen!



2. Input-Gain erhöhen

Ein Punkt, der unmittelbar folgen sollte, wenn man die akustische Lautstärke des Mess-Signals vorgenommen hat, ist die Einstellung des Input-Gains am Audio-Interface. Die Qualität der heutigen Interfaces ist meist so gut, dass sich dieser Punkt kaum bemerkbar macht. Aber natürlich gibt es auch hier eine obere und untere Grenze.

Wenn der Eingang übersteuert, würde sich die Mess-Software in der Regel beschweren und

Dich um Senkung des Eingangs-Pegels bitten. Denn ein übersteuertes Signal verfälscht sämtliche Kurven bei der weiteren Auswertung.

Ein zu leiser Pegel wird in der Regel von der Software nicht als Fehler gemeldet. Und da der Dynamikumfang Deines Audio-Interfaces vermutlich größer ist als die Dynamik zwischen Deinem Lautsprecher und Deinen Umgebungsgeräuschen, besteht hier auch meist wenig Grund zur Sorge. Dennoch solltest Du gerade bei raumakustischen Messungen den Eingangspegel soweit erhöhen, dass der Headroom möglichst nur 10-20dB beträgt. Es ist nicht notwendig und auch nicht sinnvoll, dass Du bis auf 5dB herankommst an die Übersteuerungsgrenze. Denn wenn Du dein Mikrofon oder Deinen Lautsprecher später verschiebst, um verschiedene Positionen zu vergleichen, kann der Pegel um einige dB schwanken. Und du willst ja den Eingangspegel zum Zwecke der Reproduzierbarkeit möglichst gleich lassen für alle Messungen und nicht jeder Mal ändern. Weit mehr als 20dB sollte der Headroom auch nicht sein, denn sonst geht Deine Raumantwort womöglich im Rauschen Deines Interfaces unter.

3. Den richtigen Zeitpunkt abwarten

Viele Störgeräusche, mit denen wir bei Messungen tagtäglich zu kämpfen haben, sind nicht unbedingt statisch. Manchmal fährt ein LKW vorbei, oder ein Handwerker bohrt im Nachbarhaus gerade ein Loch in die Wand. Insbesondere im Live-Bereich sind wir beim Einmessen selten alleine im Raum, sondern müssen uns mit den übrigen Kollegen vom Bühnenbau, Licht und Video irgendwie arrangieren.

Hier gilt es ein gewisses Fingerspitzengefühl zu entwickeln, wann der richtige Zeitpunkt gekommen ist, um eine Messung zu starten. Wenn Du schon weißt, dass Du verschiedene Positionen ausprobieren möchtest und Du am liebsten für eine Stunde oder länger Ruhe brauchst, dann macht es Sinn die passende Tageszeit auszuwählen. Bei Einmessungen von Beschallungsanlagen versuche ich in der Regel immer als einziger während der Mittagspause durchzuarbeiten, weil dies für Messungen die mit Abstand beste und produktivste Zeit ist. Die eigene Pause mache ich dann z.B. zu einem Zeitpunkt, wenn gerade die Putzkolonne mit ihren Staubsaugern durch den Raum kommt.

Ich kann mich noch erinnern, als wir während des Studiums öfter in Kirchen gemessen und auch Musikaufnahmen gemacht haben. Nach dem ersten Termin war für uns klar, dass wir dort immer erst abends anfangen können.

Tagsüber sind die Umgebungsgeräusche durch Verkehrslärm an vielen Orten entschieden höher als abends oder nachts. Andererseits musst Du natürlich abwägen, ob sich Deine Nachbarn durch nächtliche Messungen ggf. gestört fühlen könnten! Es kommt also sehr auf Deine eigenen Umstände an. Aber der richtige Zeitpunkt ist ein wichtiger Punkt, wenn es um Umgebungsgeräusche geht.

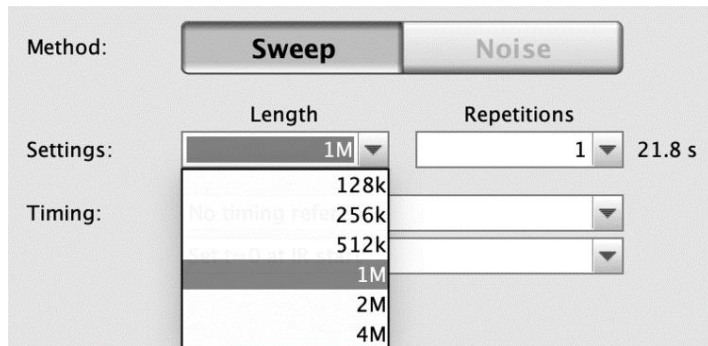
Manchmal kann man auch Einfluss nehmen auf seine Geräuschkulisse. Klimaanlage in großen Sälen erzeugen oft sehr tieffrequente Störgeräusche. Diese sind zwar im Saal fürs Publikum kaum hörbar, aber wenn es um RT60 Messungen geht, sieht man sie ganz deutlich. Ggf. lässt sich die Klimaanlage für eine gewisse Zeit abschalten, und all Deine Messungen sind mit einem Schlag deutlich besser.

4. Länge der Messung erhöhen

In mittelgroßen Räumen, sei es Dein Wohnzimmer oder Tonstudio, dürfte die Nachhallzeit in der Regel unter einer Sekunde liegen. In jedem Fall sollte eine Messung von 2 Sekunden für unsere Zwecke rein „inhaltlich“ immer ausreichen (es sei denn Du willst tatsächlich mal in einer Kirche messen).

Es macht allerdings trotzdem Sinn, dass wir die Dauer der Messung deutlich erhöhen. Wenn wir die Lautstärke vom Sweep oder vom Pink Noise gleich lassen, aber dieses Signal über einen längeren Zeitraum abspielen, können wir mehr Schallenergie aufbringen. Wir erhöhen dadurch auf einfache Weise den Signalrauschabstand unserer Messung, also den Abstand unseres Peaks in der Impulsantwort zum konstanten Hintergrundrauschen. Und es ist dabei egal, ob das Rauschen akustischer oder technischer Art ist.

Mit jeder Verdopplung der Messdauer erreichen wir eine Verbesserung um 3dB. In der Regel wird dieser Parameter in der Mess-Software durch die Anzahl der Samples eingestellt. Je nach Samplingrate entspricht eine Länge von 128k etwa 2.9 Sekunden (bei 44.1kHz) oder 2.7 Sekunden (bei 48kHz).



Es spricht nichts dagegen, dass wir in kritischen Umgebungen z.B. eine Länge von 1m mit einer Messdauer von rund 21 Sekunden wählen

Wenn Du froh bist um ein paar zusätzliche dB Signalrauschabstand und ein paar Sekunden Zeit mitbringst, dann kannst Du diesen Parameter beliebig erhöhen. Die Länge von 1M ist $2 \text{ hoch } 3 (=8)$ mal länger als diejenige von 128k, somit erhalten wir einen $3 \times 3\text{dB} = 9\text{dB}$ besseren Signalrauschabstand.

Jeder weitere Schritt kostet uns natürlich unverhältnismäßig viel Zeit, weil sich die Messdauer jeweils verdoppelt. 512k oder 1M lässt sich im normalen Ablauf noch gut verkraften, ohne dass man sich aufgehoben fühlt von der Technik. 2M oder 4M mit über eine Minute Dauer benutze ich aus Zeitgründen nie im täglichen Ablauf. Lediglich für eine finale Messung, wenn alle Entscheidungen getroffen sind und man das Ergebnis bestmöglich protokollieren möchte, lohnt sich der Mehraufwand aus meiner Sicht.

REW hat diesbezüglich ein sinnvolles Feature eingebaut: es verkürzt nach der Messung die erzeugte Impulsantwort automatisch wieder auf einen sinnvollen Wert. Denn wenn man jedes Mal die Impulsantwort von 20 Sekunden und mehr in der Software mitschleppt und für jede Berechnung heranzieht, verlangsamt das die Performance und erhöht den Speicherbedarf. Standardmäßig kürzt REW die Impulsantwort deshalb direkt nach der Messung auf 1.7 Sekunden. Falls Dir das zu kurz ist, lässt sich dieser Wert in den *Preferences* auch verlängern oder die komplette Impulsantwort erhalten.

5. Mehr Wiederholungen / Averages

Dieser Punkt geht auf das gleiche Prinzip zurück wie der vorige Punkt. Wieder verwenden wir mehr Zeit für die Messung. Diesmal lassen wir die Messung nicht nur einmal laufen, sondern gleich mehrmals. Sowohl Smaart als auch REW bieten hierzu eine passende Option an, die dies vollautomatisch übernimmt und alle Messungen anschließend verrechnet. Wir müssen nichts weiter tun, als die gewünschte Anzahl an Messungen auszuwählen (je nach Software auch **Repetitions** oder **Averages** genannt) und einfach abzuwarten, bis auch der letzte Durchgang durchlaufen wurde.

Bei der Verrechnung der Einzel-Messungen werden diese vereinfacht gesagt addiert. Das tatsächliche Nutz-Signal ist bei einem Lautsprecher und seiner Raum-Antwort jedes Mal identisch. Und die Addition zweier kohärenter (phasengleicher) Signale führt zu einer Erhöhung um 6dB. Das Störgeräusch dagegen ist bei jedem Durchgang unterschiedlich. Und die Addition zweier inkohärenter (phasenungleicher) Signale führt lediglich zu einer Erhöhung um 3dB. Letztlich erhalten wir also bei jeder Verdopplung der Wiederholungen eine Vergrößerung des Signal-Rauschabstandes um 3dB. Und alles, was wir tun müssen, ist etwas länger abzuwarten!

Bei Verwendung von Smaart kommt hier tatsächlich das gleiche raus, egal ob man eine einzelne Messung länger definiert (wie in Punkt 4 erläutert) oder ob man eine kürzere Messung mehrmals durchführt. Meine persönliche Einschätzung: ein einziger längerer Sweep ist für mich etwas angenehmer und kurzweiliger als wenn man vier oder acht Mal einen kürzeren Sweep anhören muss. Und Außenstehende assoziieren mit einem einmaligen Sweep nicht ganz so schnell einen Alarm wie mit vielen Wiederholungen.

Repetitions bei REW nur bedingt nützlich

Bei REW habe ich bei der Verlängerung der Messung nach Punkt 4 ebenfalls immer eine Verbesserung um 3dB erreicht. Dagegen sind meine Erfahrungen mit den *Repetitions* durchwachsen. Fast immer führen Wiederholungen dazu, dass das in meinem Versuchsaufbau eigentlich konstante Nebengeräusch zum Ende der Impulsantwort leiser wurde als am Anfang. Und wenn dies auf das Hintergrundgeräusch zutrifft, dann befürchte ich, dass auch ein Nutzsignal wie der Nachhall zum Ende hin leiser abgebildet wird und letztlich die Impulsantwort nicht korrekt ist.

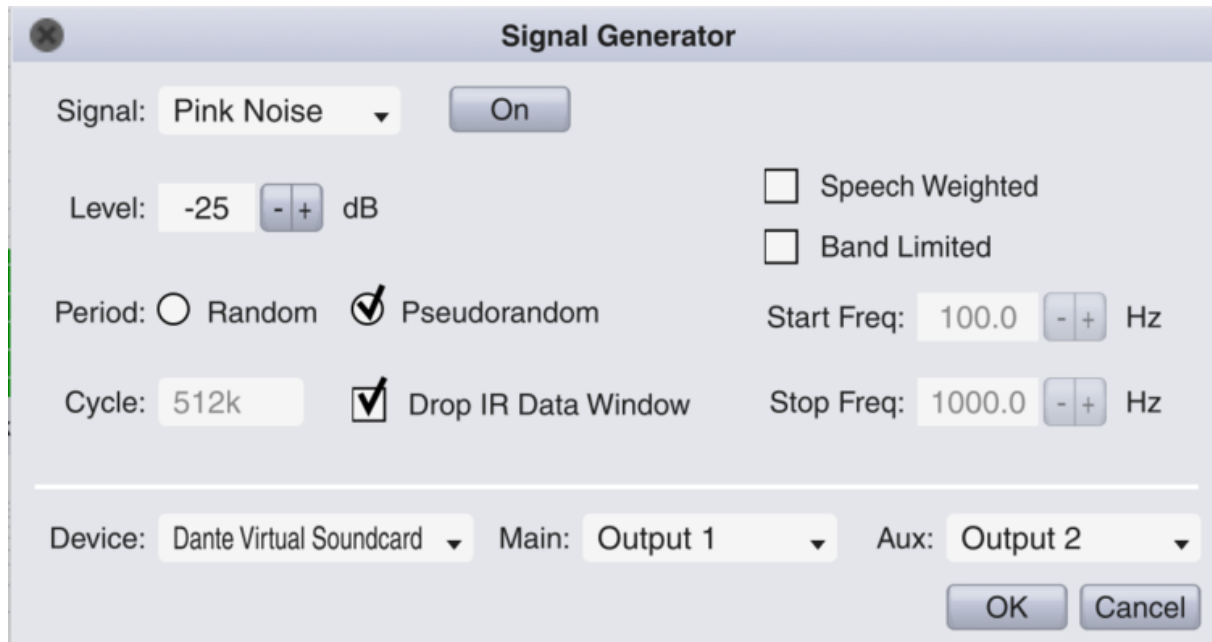
Zum zweiten führt nicht jede Verdopplung immer zu einer Verbesserung.

Bei einer Länge von 128k (2.7s) verbessert sich der Signalrauschabstand bis zu 4 Wiederholungen. Bei 8 ist bei mir keine weitere Verbesserung sichtbar. Bei den längeren Messungen wird der Mehrgewinn immer weniger. Bei 1M beispielsweise konnte ich keine Verbesserung feststellen und es ist letztlich reine Zeitverschwendung.

Ich würde Dir raten, hier zu Beginn selbst zu experimentieren, ob in Deinem Setup die Verwendung mehrerer Repetitions tatsächlich eine Verbesserung bringt.

Bonus-Tipp für SMAART

Auch wenn Smaart den Raumakustik-Teil der Software in letzter Zeit sehr verbessert und auch die Nutzung von Sweeps in Aussicht stellt (mit meiner aktuellen Version 8.4.3.2 funktioniert es noch nicht reibungslos), wirst Du vermutlich mit *Pink Noise* vom internen Signalgenerator arbeiten. Es gibt hier einen fast unhörbaren aber mathematisch sehr wichtigen Punkt in den Optionen, der den Signalrausch-Abstand deutlich verbessert:

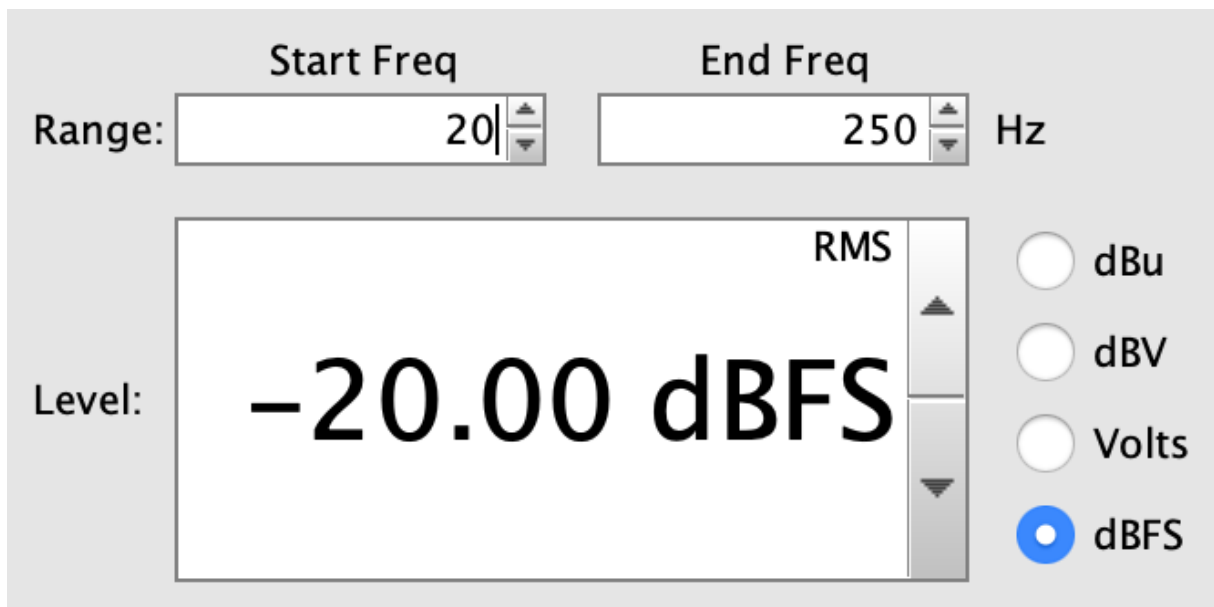


Die Option **Drop IR Data Window** koppelt die Länge des Rauschens an diejenige der Messung. Man hört dann zwar, dass sich das Rauschen alle 3 Sekunden wiederholt aber es bringt eine Senkung der Störgeräusche um immerhin 9dB!, Zur Generierung von hochwertigen Impulsantworten solltest Du diese Option also immer aktivieren

Bonus-Tipp für REW

Wenn Dich momentan lediglich die tiefen Frequenzen interessieren, weil Du beispielsweise verschiedene Positionen für Lautsprecher oder Absorber ausprobieren möchtest, dann lässt sich der Frequenzbereich für die Messung in REW begrenzen.

Zuerst die schlechte Nachricht: wenn Dein Mess-Signal nur bis beispielsweise 250Hz reicht, dann enthalten Deine Daten natürlich keinerlei Informationen über das Verhalten Deiner Lautsprecher oder Deines Raumes über 250Hz. Wenn Du je nach Situation mit dieser Einschränkung zurecht kommst, dann gibt es gleich mehrere



REW nutzt die eingestellte Datenlänge und Messdauer nun nicht mehr für den ganzen Frequenzbereich (beispielsweise 20Hz bis 20.000Hz), sondern dehnt die Messung für den eingeschränkten Bereich (beispielsweise 20Hz bis 250Hz) entsprechend aus. Wie wir in Punkt 4 schon gesehen haben, erhalten wir bei einer längeren Messdauer einen besseren Signal-Rausch-Abstand. Statt 10 Oktaven (20Hz bis 20kHz) müssen wir nun lediglich knapp 4 Oktaven abdecken. Das ergibt also mehr als die doppelte Zeit für den unteren Frequenzbereich und dürfte unser Grundrauschen um mehr als 3dB absenken.

Das ganze hat aber noch einen anderen praktischen Nutzen: wir schonen unsere Ohren! Wir müssen uns nämlich nicht bei jeder Messung die evtl. lauten und nervigen hohen Frequenzen anhören! Der Bereich bis 250Hz (je nach Situation reicht Dir sogar schon

bis 120Hz) ist recht unaufdringlich für unser Gehör. Und eventuell können wir dies sogar dazu nutzen, dass wir den Pegel nochmals um etliche dB anheben!

Kleiner Hinweis zu dieser Frequenz-Einschränkung: aufgrund der fehlenden hohen Frequenzen ist der Peak in der Impulsantwort nicht mehr als herausragende Spitze erkennbar, sondern ist stark abgeflacht. Es lässt sich deshalb nicht mehr wie zuvor beschrieben der Signal-Rausch-Abstand anhand der Impuls-Antwort ablesen. Für das Wasserfall-Diagramm und das Spektrogramm ist diese Teil-Messung aber dennoch von Vorteil!